

#3  
Priority  
K. J. H. S.  
8 29 0  
PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

EXPRESS MAIL NO. EL791137243US

1c973 U.S. PTO  
09/882352  
06/15/01

Applicant : Noboru Edagawa, et al.  
Application No. : N/A  
Filed : June 15, 2001  
Title : PUMPING LIGHT GENERATOR AND FIBER  
RAMAN AMPLIFIER

Grp./Div. : N/A  
Examiner : N/A

Docket No. : 45234/DBP/T360

LETTER FORWARDING CERTIFIED  
PRIORITY DOCUMENT

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Post Office Box 7068  
Pasadena, CA 91109-7068  
June 15, 2001

Commissioner:

Enclosed is a certified copy of Japanese patent Application No. 2000-182164, which was  
filed on June 16, 2000, the priority of which is claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,

CHRISTIE, PARKER & HALE, LLP

By D. Bruce Prout  
D. Bruce Prout  
Reg. No. 20,958  
626/795-9900

DBP/aam  
Enclosure: Certified copy of patent application

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 6月16日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-182164

出 願 人

Applicant(s):

ケイディディ海底ケーブルシステム株式会社

2001年 4月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造

出証番号 出証特2001-3027625

【書類名】 特許願

【整理番号】 KDD00075

【提出日】 平成12年 6月16日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/35

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県上福岡市大原二丁目1番15号株式会社ケイディ  
                        ディ研究所内

    【氏名】 枝川 登

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県上福岡市大原二丁目1番15号株式会社ケイディ  
                        ディ研究所内

    【氏名】 鈴木 正敏

【特許出願人】

    【識別番号】 595162345

    【住所又は居所】 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

    【氏名又は名称】 ケイディディ海底ケーブルシステム株式会社

    【代表者】 新納 康彦

【代理人】

    【識別番号】 100090284

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 田中 常雄

    【電話番号】 03-5396-7325

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 011073

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】            要約書    1

【包括委任状番号】    9506696

【プルーフの要否】    要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ポンプ光発生装置及びファイバラマン増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2つのポンプ光源と、

当該2つのポンプ光源から出力されるポンプを互いに直交する偏波で合成する合波器と、

当該偏光合成器の出力光の偏光度を低減する偏光度低減器  
とからなることを特徴とするポンプ光発生装置。

【請求項 2】 当該偏光度低減器が、当該合波器の出力光を無偏光化する無偏光化素子からなる請求項 1 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 3】 当該偏光度低減器が複屈折媒体からなる請求項 1 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 4】 当該複屈折媒体は、入射する各ポンプ光を当該複屈折媒体の各偏光軸から実質的に同じ光パワーで出力するように配置される請求項 3 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 5】 当該複屈折媒体は、各ポンプ光源の出力光のコヒーレンス長よりも長い偏波分散を具備する請求項 3 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 6】 当該複屈折媒体が、ルチル結晶及び  $YVO_4$  の何れかである請求項 3 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 7】 複数のポンプ光源と、

当該複数のポンプ光源の出力光を合波する合波器と、

当該合波器の出力光の偏光度を低減する偏光度低減器  
とからなることを特徴とするポンプ光発生装置。

【請求項 8】 当該偏光度低減器が、当該合波器の出力光を無偏光化する無偏光化素子からなる請求項 7 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 9】 当該偏光度低減器が複屈折媒体からなる請求項 7 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 10】 当該複屈折媒体は、入射する各ポンプ光を当該複屈折媒体の各偏光軸から実質的に同じ光パワーで出力するように配置される請求項 9 に記載の

ポンプ光発生装置。

【請求項 1 1】 当該複屈折媒体は、各ポンプ光源の出力光のコヒーレンス長よりも長い偏波分散を具備する請求項 9 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 1 2】 当該複屈折媒体が、ルチル結晶及び  $\text{YVO}_4$  の何れかである請求項 9 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 1 3】 当該偏光度低減器が、それぞれの偏波分散が当該各ポンプ光源の出力光のコヒーレンス長よりも長く、且つ、偏波分散が倍以上に異なる第 1 及び第 2 の複屈折媒体からなり、当該第 1 の複屈折媒体の後に当該第 2 の複屈折媒体が配置され、第 1 の複屈折媒体の 1 つの偏光軸を通過した光が第 2 の複屈折媒体の 2 つの偏光軸からほぼ同じ光パワーで出力されるように当該第 1 の複屈折媒体及び当該第 2 の複屈折媒体が配置されている請求項 1 3 に記載のポンプ光発生装置。

【請求項 1 4】 請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のポンプ光発生装置と、

信号光を伝搬する光ファイバと、

当該ポンプ光発生装置の出力光を当該光ファイバに結合する光結合器とからなることを特徴とするファイバラマン増幅器。

【請求項 1 5】 請求項 7 乃至 1 3 の何れかに記載のポンプ光発生装置と、

信号光を伝搬する光ファイバと、

当該ポンプ光発生装置の出力光を当該光ファイバに結合する光結合器とからなることを特徴とするファイバラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ポンプ光発生装置及びファイバラマン増幅器に関し、より具体的には、光増幅のポンプ光を発生する装置及びそのポンプ光発生装置を使用するファイバラマン増幅器に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

ファイバラマン増幅器は、ポンプ光波長を適当に選ぶことにより任意の波長帯

を増幅帯域とすることができ、将来の超大容量光伝送システムにおける増幅帯域不足に対応できる重要な光増幅技術として、近年、注目されている。

## 【0003】

ファイバラマン増幅では、原理的に、ポンプ光と信号光の偏光状態が一致した時に利得が最大となり、ポンプ光と信号光の偏光状態が互いに直交すると、利得が無くなるので、信号光の偏光状態によらず安定な利得を得るにはポンプ光を無偏光化する必要がある。

## 【0004】

ポンプ光を無偏光化するために従来、図4に示すような構成が知られている（米国特許第4805977号）。2つのレーザダイオード（ポンプ光源）10，12が、互いに相関の無い又は非常に小さい一定偏波のポンプ光を出力する。偏光ビームスプリッタ14が、レーザダイオード10，12の出力光をほぼ等しい光パワーで、且つ互いに直交する偏波状態で合波する。

## 【0005】

また、複屈折媒体又はLyot無偏光子を用いて光を無偏光化する方法が知られている（特開昭59-155806号公報（米国特許第4572608号）、特開昭57-190922号公報、William K. Burns, "Degree of Polarization in the Lyot Depolarizer", Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-1, No. 3, pp. 475-479, September 1983、及び望月清文, "Degree of polarization in jointed fibers: the Lyot depolarizer", Applied Optics, Vol. 23, No. 19, pp. 3284-3288, 1 October 1984参照）。

## 【0006】

このような無偏光化方法を使用して、複数のポンプ光を波長多重してラマン増幅媒体に供給する構成も知られている（Y. Emori, S. Matsuhashita and S. Namiki, "Cost-effective

depolarized diode pump unit designed for C-band flat-gain Raman amplifiers to control EDFA gain profile", Technical Digest, OFC2000, paper FF4, 2000)。図5は、そのポンプ光発生装置の概略構成ブロック図を示す。

## 【0007】

図5では、レーザダイオード（ポンプ光源）20aは、波長1428nmの完全偏光光（又は高偏光光）を出力し、レーザダイオード（ポンプ光源）20bは、波長1455nmの完全偏光光（又は高偏光光）を出力する。レーザダイオード20a、20bの出力光はそれぞれ高複屈折光ファイバ（又は偏波面保持ファイバ）22a、22bを通過することで無偏光化され、その後、合波器24により合波される。合波器24の出力光は、波長1428nmの光と波長1455nmの光を含み、無偏光化又は低偏光化されている。

## 【0008】

## 【発明が解決しようとする課題】

図4に示す従来例では、低損失で同一波長帯の2つのポンプ光を合成できるので、高出力な無偏光ポンプ光源を実現できる。しかし、一方のポンプ光源が故障すると、出力光が完全偏光光となり、ファイバラマン増幅器が大きな偏光依存性を持つてしまう。

## 【0009】

図5に示す従来例では、各波長のポンプ光を個別に無偏光化するので、どのポンプ光源が故障しても、合波器24の出力光の偏光度が変化することはない。しかし、この構成では、低損失の合波が可能な偏光合成を利用できないので、同じ波長帯のポンプ光パワーを増大することが難しい。また、各波長のポンプ光源が故障すると、そのポンプ波長成分が全くなくなるので、ファイバラマン増幅器の利得波長特性（利得形状）が大きく変化してしまう。

## 【0010】

本発明は、このような問題点を解決したポンプ光発生装置を提示することを目的とする。



【 0 0 1 1 】

本発明はまた、出力パワーの増大が容易なポンプ光発生装置を提示することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

本発明は更に、より少ない素子数で実現でき、高強度・無偏光度又は低偏光度のポンプ光を出力するポンプ光発生装置を提示することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

本発明は更に、1つのポンプ光源が故障しても出力光が無偏光状態又は低偏光状態に保たれる信頼性の高いポンプ光発生装置を提示することを目的とする。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るポンプ光発生装置は、2つのポンプ光源と、当該2つのポンプ光源から出力されるポンプを互いに直交する偏波で合成する合波器と、当該偏光合成器の出力光の偏光度を低減する偏光度低減器とからなることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

このような構成により、偏光合成された2つのポンプ光の各偏光度を単一の偏光度低減器で低減できる。従って、1つのポンプ光源が故障しても、装置出力のポンプ光の偏光度が高くなってしまいうことがなく、高い信頼性を確保できる。

【 0 0 1 6 】

本発明に係るポンプ光発生装置はまた、複数のポンプ光源と、当該複数のポンプ光源の出力光を合波する合波器と、当該合波器の出力光の偏光度を低減する偏光度低減器とからなることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

このような構成により、複数のポンプ光の偏光度を単一の偏光度低減器で一括して低減できる。これにより、構成が簡単で、小型で、経済的なポンプ光発生装置を実現できる。

【 0 0 1 8 】

偏光度低減器は好ましくは、合波器の出力光を無偏光化する無偏光化素子からなる。

## 【 0 0 1 9 】

偏光度低減器は例えば、複屈折媒体からなる。その複屈折媒体は、入射する各ポンプ光を当該複屈折媒体の各偏光軸から実質的に同じ光パワーで出力するように配置される。その複屈折媒体は、各ポンプ光源の出力光のコヒーレンス長よりも長い偏波分散を具備する。複屈折媒体は例えば、ルチル結晶又は $\text{YVO}_4$ である。

## 【 0 0 2 0 】

当該偏光度低減器は、それぞれの偏波分散が当該各ポンプ光源の出力光のコヒーレンス長よりも長く、且つ、偏波分散が倍以上に異なる第1及び第2の複屈折媒体からなり、当該第1の複屈折媒体の後に当該第2の複屈折媒体が配置され、第1の複屈折媒体の1つの偏光軸を通過した光が第2の複屈折媒体の2つの偏光軸からほぼ同じ光パワーで出力されるように当該第1の複屈折媒体及び当該第2の複屈折媒体が配置されているものでもよい。このようにすることで、偏光非保持型の合波器を使用できるようになる。

## 【 0 0 2 1 】

本発明に係るファイバラマン増幅器は、上述のポンプ光発生装置と、信号光を伝搬する光ファイバと、当該ポンプ光発生装置の出力光を当該光ファイバに結合する光結合器とからなる。

## 【 0 0 2 2 】

## 【実施例】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

## 【 0 0 2 3 】

図1は、本発明の第1実施例の概略構成ブロック図を示す。30a, 30bは、高い偏光度を有するレーザ光を発生するレーザダイオード（ポンプ光源）であり、具体的には、1480nm帯でレーザ発振するInGaAsP製ファブリペローレーザダイオード（FP-LD）からなる。レーザダイオード30a, 30bの出力光は、互いに直交する偏波状態で偏光ビームスプリッタ32に入射して、ここで合波される。偏光合成であるので、レーザダイオード30a, 30bの出力光を低損失で合波できる。レーザダイオード30a, 30bの発振波長帯は

実質的に等しくても良いし、異なっても良い。偏光ビームスプリッタ 3 2 により合波された光は、無偏光化素子 3 4 に入射し、ここで無偏光化される。レーザダイオード 3 0 a, 3 0 b、偏光ビームスプリッタ 3 2 及び無偏光化素子 3 4 が、本実施例のポンプ光発生装置 3 6 を構成する。

## 【 0 0 2 4 】

無偏光化素子 3 4 は例えばルチル結晶等の複屈折結晶からなり、その複屈折軸が偏光ビームスプリッタ 3 2 の各偏光軸に対し 4 5 度の角度となるように配置される。これにより、無偏光化素子 3 4 の各複屈折軸から出力される光パワーが互いにほぼ同じになり、ルチル結晶の出力光は無偏光になる。もし、ルチル結晶の透過損失が各複屈折軸によって異なる場合、各複屈折軸から出力される光パワーがほぼ同じになるよう、偏光ビームスプリッタ 3 2 に対する設置角度を調整すればよい。レーザダイオード 3 0 a, 3 0 b は通常、多モード発振しており、光源スペクトル幅はだいたい 1 0 n m 程度と広い。従って、コヒーレンス時間は約 1 p s 程度となる。約 1 m m 程度より長いルチル結晶であれば、約 1 p s 程度以上の偏波分散が得られるので、実質的な無偏光化が可能となる。

## 【 0 0 2 5 】

ポンプ光発生装置 3 6 の出力光、即ち無偏光化素子 3 4 の出力光は、光カップラ 3 8 に入射する。光カップラ 3 8 は、ポンプ光発生装置 3 6 から出力されるポンプ光を、光ファイバ伝送路 4 0 に、例えば信号光の伝搬方向とは逆方向に導入する。光ファイバ伝送路 4 0 上では、ポンプ光発生装置 3 6 のポンプ光によりラマン増幅が起こり、信号光がラマン増幅される。

## 【 0 0 2 6 】

図 1 に示す実施例では、2 つのレーザ光源の出力光を偏光合成後に 1 つの無偏光化素子で無偏光化しているので、一方のレーザ光源が故障しても、装置 3 6 の出力光の偏光度が高くなることは無い。従って、障害に強いポンプ光発生装置を実現できる。偏光合成を利用できるので、レーザダイオード 3 0 a, 3 0 b の出力パワーを有効に活用できる。

## 【 0 0 2 7 】

図 2 は、本発明の第 2 実施例の概略構成ブロック図を示す。5 0 a, 5 0 b は

、高い偏光度を有するレーザ光を発生するレーザダイオード（ポンプ光源）を示す。レーザダイオード50a, 50bは、具体的には、外付けファイバグレーティング等により発振波長を1460nmと1480nmにそれぞれ安定化されたInGaAsP製レーザダイオードからなる。レーザダイオード50a, 50bの出力光は偏光保持型の合波器52に入力する。合波器52は、レーザダイオード50a, 50bの出力光を、それぞれの偏波状態を維持したまま合波して、無偏光化素子54に供給する。合波器52の出力光、すなわち、無偏光化素子54の入力光は、レーザダイオード50a, 50bの出力光毎にそれぞれの方向に偏波しているが、無偏光化素子54は、それらの成分光を共に無偏光化する。レーザダイオード50a, 50b、合波器52及び無偏光化素子54が、本実施例のポンプ光発生装置56を構成する。

## 【0028】

無偏光化素子54は、無偏光化素子34と同様に、例えばルチルの結晶等の複屈折結晶からなる。レーザダイオード50a, 50bのレーザ発振スペクトル幅が約1nmと狭いので、コヒーレンス時間は約10ps程度となる。従って、無偏光化素子54として使用するルチル結晶の長さは約10mmであれば、約10ps程度以上の偏波分散が得られるので、実質的な無偏光化を実現できる。

## 【0029】

ポンプ光発生装置56の出力光、即ち無偏光化素子54の出力光は、光カップラ58に入射する。光カップラ58はポンプ光発生装置56から出力されるポンプ光を、光ファイバ伝送路60に、例えば信号光の伝搬方向とは逆方向に導入する。光ファイバ伝送路60上では、ポンプ光発生装置56のポンプ光によりラマン増幅が起こり、信号光がラマン増幅される。

## 【0030】

図2に示す実施例では、複数のポンプ光源の主力光を偏光保持型合波器52により合波して、1つの無偏光化素子54でまとめて無偏光化するので、構成が簡単で、小型で、経済的なポンプ光発生装置を実現できる。

## 【0031】

図2に示す実施例では、偏光保持型合波器52を用いたが、偏光を保持できな

い合波器を使用しても良い。その場合、無偏光化素子 5 4 を次のようにする。即ち、図 3 に示すように、偏波分散が各レーザダイオード 5 0 a, 5 0 b の出力光のコヒーレンス長よりも長く、且つ、偏波分散が倍以上に異なる 2 つの複屈折媒体 6 2, 6 4 をシリアルに接続する。但し、前半の複屈折媒体 6 2 の 1 つの偏光軸を通過した光が後半の複屈折媒体 6 4 の二つの偏光軸からほぼ同じ光パワーで出力されるように 2 つの複屈折媒体 6 2, 6 4 を配置する。例えば、ルチル結晶の透過損失がどの複屈折軸でも同じだとすると、1 0 m m 長のルチル結晶と 2 0 m m 長のルチル結晶を、それぞれの複屈折軸が 4 5 度傾くように直列に配置すればよい。

#### 【 0 0 3 2 】

なお、無偏光化素子 3 4, 5 4 として利用できる複屈折媒体には、ルチル結晶の他に、PANDAファイバ（商標）のような高複屈折光ファイバ、及び YVO<sub>4</sub> がある。

#### 【 0 0 3 3 】

図 1 に示す実施例と図 2 に示す実施例を組み合わせても良い。例えば、レーザダイオード 5 0 a の代わりに、複数の同一波長帯のポンプ光源の出力光を偏光合成して出力する光源を配置しても良い。レーザダイオード 5 0 b についても同様である。

#### 【 0 0 3 4 】

以上の説明では無偏光化素子 3 4, 5 4 は入力光を無偏光化すると説明したが、入力光の偏光度を低減するものであってもよい。偏光度が下がれば下がるほど、光増幅特性が安定化する。

#### 【 0 0 3 5 】

##### 【発明の効果】

以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、複数のポンプ光を合波した後にまとめて無偏光化又は低偏光化するので、1 つのポンプ光源が故障しても無偏光化状態を維持できる。これにより、信頼性が高く、経済的で高性能な光増幅器、例えば、ファイバラマン増幅器を実現できる。また、異なる波長の複数のポンプ光から、無偏光化又は低偏光化された合成ポンプ光を簡易な構成

で生成できる。このようにして、本発明は、光ファイバ通信網の通信容量拡大に大きく貢献できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施例の概略構成図である。

【図 2】 本発明の第 2 実施例の概略構成図である。

【図 3】 無偏光化素子 5 4 の別の構成例である。

【図 4】 従来の偏光合成型ポンプ光発生装置の概略構成図である。

【図 5】 別の従来例の概略構成図である。

【符号の説明】

1 0, 1 2 : レーザダイオード

1 4 : 偏光ビームスプリッタ

2 0 a, 2 0 b : 光源

2 2 a, 2 2 b : 高複屈折光ファイバ（又は偏波面保持ファイバ）

2 4 : 合波器

3 0 a, 3 0 b : レーザダイオード

3 2 : 偏光ビームスプリッタ

3 4 : 無偏光化素子

3 6 : ポンプ光発生装置

3 8 : 光カップラ

4 0 : 光ファイバ伝送路

5 0 a, 5 0 b : レーザダイオード

5 2 : 合波器

5 4 : 無偏光化素子

5 6 : ポンプ光発生装置

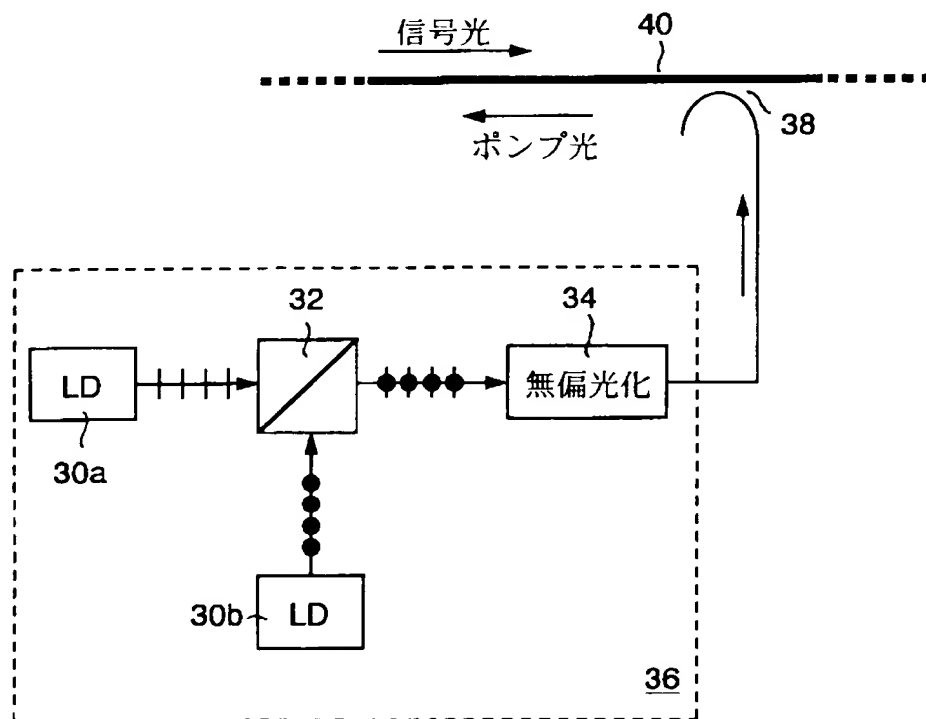
5 8 : 光カップラ

6 0 : 光ファイバ伝送路

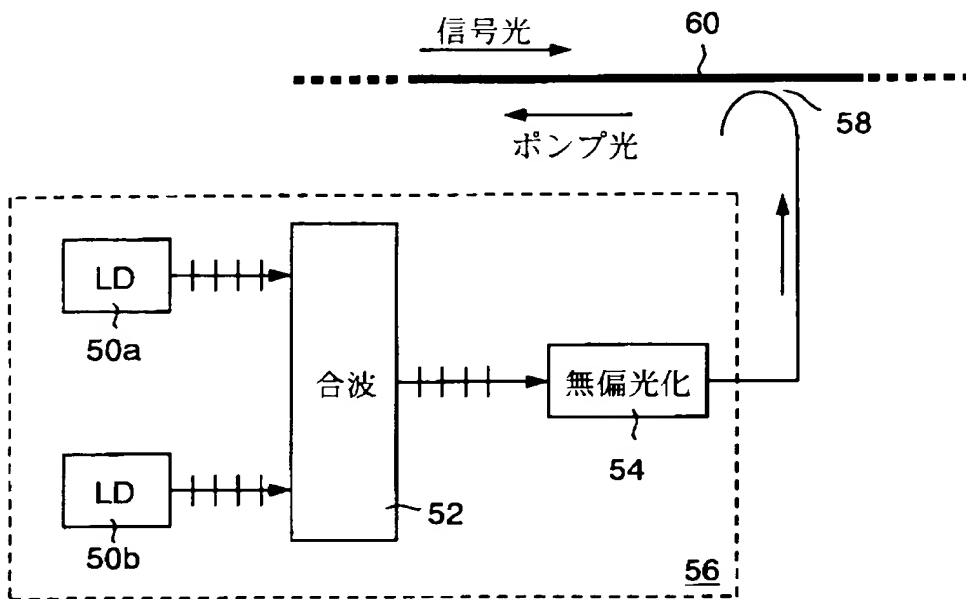
6 2, 6 4 : 複屈折素子

【書類名】 図面

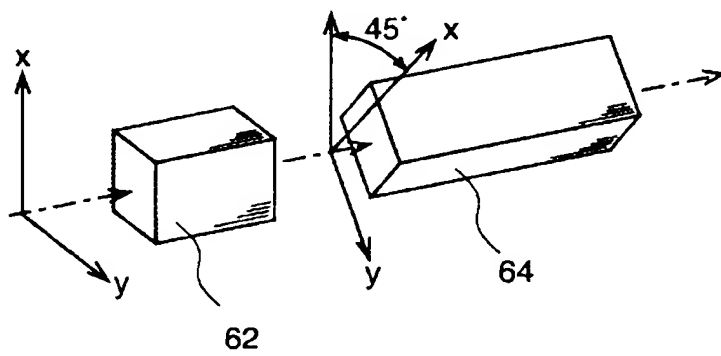
【図 1】



【図 2】

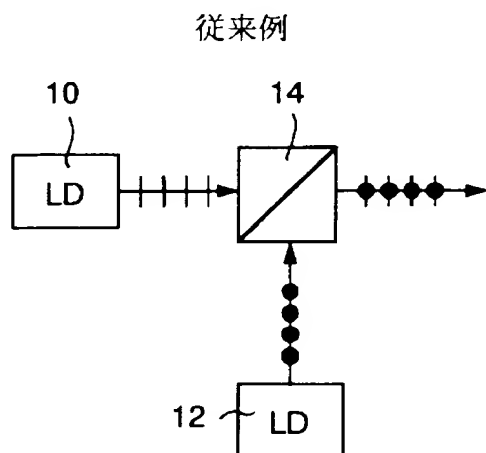


【図 3】

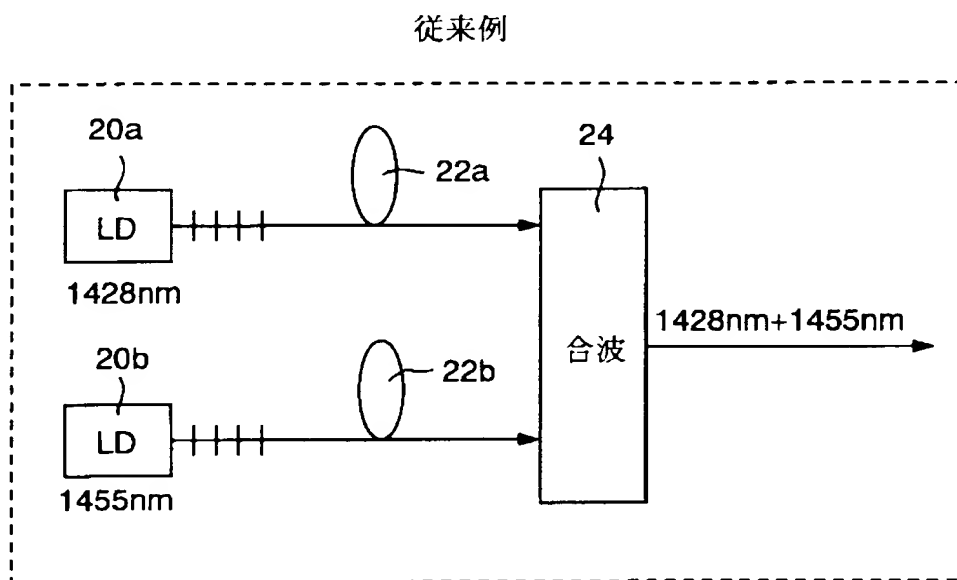




【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 1つのポンプ光源が故障しても、出力ポンプ光の偏光度が高くないようにする。

【解決手段】 レーザダイオード30a, 30bは、1480nm帯でレーザ発振するInGaAsP製FP-LDからなる。レーザダイオード30a, 30bの出力光は、互いに直交する偏波状態で偏光ビームスプリッタ32に入射して、ここで合波される。偏光ビームスプリッタ32により合波された光は、無偏光化素子34に入射し、ここで無偏光化される。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [595162345]

1. 変更年月日 1995年10月23日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号  
氏 名 ケイディディ海底ケーブルシステム株式会社
2. 変更年月日 2000年 8月15日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 東京都新宿区西新宿3丁目7番1号  
氏 名 ケイディディ海底ケーブルシステム株式会社